

J. Rakuno Gakuen Univ., 26 (1) : 71~78 (2001)

乳牛の乳器形状における搾乳ロボット適合性について

小 宮 道 士¹⁾・森 田 茂¹⁾・泉 賢 一²⁾
及 川 健 司²⁾・川 上 克 己¹⁾

Udder Shape and Teat Location of Dairy Cows Examined for Suitability to Automatic Milking System

Michio KOMIYA¹⁾, Shigeru MORITA¹⁾, Kenichi IZUMI²⁾,
Kenji OIKAWA²⁾ and Katsumi KAWAKAMI¹⁾
(June 2001)

緒 論

自動搾乳システム(搾乳ロボット)は1995年にオランダにおいて商用機の導入が始まって以来、2000年9月には、およそ730台が13ヶ国以上で稼働していると言われている¹⁾。このシステムは乳牛の自発的行動によって多頻度自動搾乳を実現し、1日2回以上の搾乳により産乳量の増加^{3,5)}が期待できるばかりでなく、乳牛の繁殖や健康、給餌などに関する情報を一元的に収集、管理することを可能にした。さらに自動搾乳システムにおける最大の長所は、毎日3~4時間を必要としていた搾乳作業労働が大幅に軽減されたことであろう。その一方で、搾乳が乳牛の自発的行動に依存することから、活動性の低下により搾乳ストールを訪れない未搾乳牛や、また何らかの原因で搾乳シーケンスが正常に終了できなかった搾乳失敗牛が発生することがある。これらの個体は作業による搾乳ストールへの追い込み作業や搾乳機装着のために人為的な介助作業が必要になる。しかし、自動搾乳システムの搾乳能率は6~8頭/時⁴⁾と低いため、これらの個体が数頭でも増えると余分な作業時間が必要となる。従って自動搾乳システムを効率的に運用するためには、未搾乳牛や搾乳失敗牛はできるだけ少ないか、または牛群にいないことが望ましい。

搾乳シーケンスが失敗となって終了する原因には、搾乳機器の故障や不具合など機械に起因する場合と、特殊な乳器形状により乳頭位置の検出や搾乳機の装着に失敗する場合がある。前者は機器の修理や交換によって原因が容易に解消される。しかし、

後者は乳牛の乳器形状が個体によって異なり、また同一個体であっても分娩後や泌乳期によって変化することから、その発生を皆無にすることは困難を要する。従って産次や乳量また泌乳期間における乳器形状や乳頭位置の変化を把握することは、装着失敗の原因を明確にし、マニピュレータや乳頭検出方法の改善に有用である。

これまでの自動搾乳システムに関連した乳牛の乳頭座標の研究^{2,6)}は、搾乳ロボットの開発を目的としたマニピュレータの設計や乳頭位置の検出方法を検討するためであった。本研究では、繋ぎ飼い・パイプライン搾乳方式からフリーストール・パーラ方式への移行と同時に自動搾乳システムの導入も予定されていた本学附属農場において、乳牛の乳器形状や乳頭座標を測定して、各個体の搾乳ロボットへの適合性を調べた。さらに導入後の乳牛の搾乳成功率からこれらの適合性を検証するとともに、搾乳失敗の原因を究明した。

方 法

搾乳ロボットは搾乳ストールの大きさや搾乳機を装着するマニピュレータの動作範囲から、ほとんどの機種において搾乳可能な乳牛の体長、体幅、乳頭間隔、最低地上高などの条件が定められている。そこで本研究では附属農場に導入が予定されていたL社の搾乳ロボットの条件に適合する乳牛を選定するために、自動搾乳に移行する前の附属農場において乳牛の乳器形状および乳頭座標の測定を実施した。測定頭数は計測時に乾乳中であった個体を除く附属農場の第1および第2牛舎のホルスタイン種、

¹⁾ 酪農学園大学 酪農学部 酪農学科
Department of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学 附属農場
Research Farm, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

ジャージー種を合わせた69頭であった。測定項目は各乳頭間距離、先端高さ、付着角度、乳房の大きさ、体長、体幅などで、これらをデジタルコンベックス、スラントルール、体格測定器などを用いて測定した。乳房の大きさは乳房の付着点から後乳房端までの縦幅と後乳房幅を測定し、体長はき甲から座骨までを測定した。計測は搾乳による乳器形状、乳頭間隔の変化を調べるため、午後の搾乳直前と直後に実施し、さらに泌乳期間の推移による影響を調べるため、計測の実施日を2000年7月28日、8月28日、10月15日の3回とした。また、測定した項目の他に乳牛個体データとして乳量、産次、分娩後日数などを記録した。これらのデータから産次の違いや搾乳による乳頭間隔値への影響と各個体のL社搾乳ロボットとの適合性を調べた。

乳牛の適合性を調べるにあたりL社が定めた条件の他に、同じ機種を既に導入している3農場(A, B, C)から個体管理ソフトウェアのバックアップデータを採取し、これらの乳牛(合計188頭)の搾乳および乳頭座標データを解析して、乳頭間隔値などを基に実際の適合条件を設定した。2つの適合条件で本学附属農場の個体データと比較し、適合性と不適合割合を求めた。

2000年11月6日以降は、適合性を比較した個体

の中から19頭を選抜し、本学の搾乳ロボット牛舎(Fig.1)において自動搾乳を開始した。牛舎はワンウェイ通路を2ヶ所に設定した単方向移動型レイアウトである。なお、飼槽側8つのストールは全て塞ぎ、休息と採食場所を完全分離した。移行後1週目から19週目までの各個体の全搾乳回数と搾乳失敗回数から搾乳成功率を求め、搾乳ロボットによって計測された乳頭座標データと移行前に判定した適合性を比較、検証した。また、搾乳の失敗が多い個体については、その原因についての検討を行った。

結果および考察

1. 搾乳ロボット導入農場の牛群における乳頭間隔値

Table 1には搾乳ロボットを導入したA, B, Cの3農場から個体管理ソフトウェアが記録したデータを基に、乳頭間隔、最低乳頭高さ、泌乳日数、搾乳量、搾乳間隔などを初産、2産、3産以上の産次別にまとめた。3農場の平均値における乳牛の乳頭間隔は、産次が進むと前後の間隔については有意($P < 0.01$)に増加した。しかし、左右の間隔については後ろ左右間に微増が認められたものの、前左右間には逆に減少傾向であった。最低乳頭高さは産次が進むと有意($P < 0.01$)に減少する傾向が認められた。八

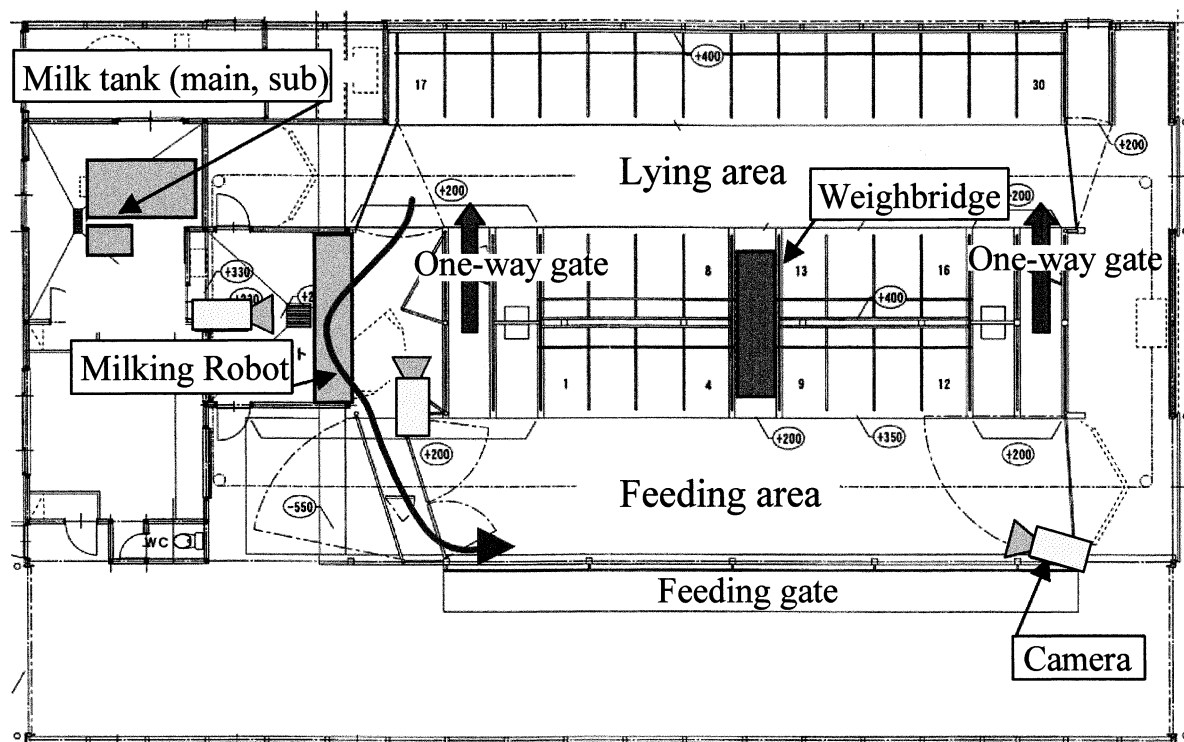


Fig. 1 Layout of a barn with the automatic milking system at the Rakuno Gakuen University Research Farm.

Table 1 Distance between teats by parity groups in farms using automated milking.

Parity	Farm	Number of cows	Distance between teats (mm)				DLF (mm)	Lactation (days)	Expected daily milk yield (kg)	Milk yield (kg)	Milking interval (h)
			DF	DR	DLS	DRS					
1	A	14	147.2	65.3	104.7	104.8	536.9	169	19.6	8.5	10.2
	B	29	167.9	81.3	106.1	103.6	531.4	215	29.4	10.2	8.4
	C	43	164.1	77.4	111.5	112.2	543.5	159	29.1	12.7	10.4
	Average	Total 86	162.6	76.7	108.6	108.1	538.3	179	27.6	11.2	9.7
2	A	22	135.2	66.0	105.5	107.5	508.0	241	21.5	8.0	9.5
	B	29	163.6	85.0	125.6	125.1	474.1	138	35.3	10.4	7.1
	C	16	178.4	78.8	130.1	129.9	483.1	133	31.3	14.1	10.5
	Average	Total 67	157.9	77.3	120.1	120.5	487.4	171	29.8	10.5	8.7
≥3	A	8	152.2	86.1	126.7	127.7	428.4	243	19.7	8.3	11.5
	B	26	154.2	74.4	131.4	126.9	422.2	191	30.1	10.9	9.0
	C	1	179.7	93.0	160.5	164.8	438.0	68	46.8	16.2	8.6
	Average	Total 35	154.5	77.6	131.1	128.1	424.1	199	28.2	10.4	9.5

DF=distance between front teats, DR=distance between rear teats, DLS=distance between left side teats, DRS=distance between right side teats, DLF=distance from lowest point of udder to floor.

谷ら²⁾や Miller ら⁶⁾は、4つの乳頭間隔全てにおいて産次が進むと有意に増加したと報告している。搾乳ロボット導入農場では初産から3産までの個体がほとんどで、さらに搾乳ロボットでの自動搾乳に適合する個体だけで牛群が構成されているため、左右の乳頭間隔に増加傾向が認められなかったと考える。A農場の乳頭間隔は他の2農場に比べて小さかったが、期待乳量値が示しているように乳量が低いことが理由と考える。搾乳間隔は乳器の形状に変

化を及ぼす要因の1つであるが、3農場における産次別牛群の平均搾乳間隔は7.1~11.5時間であった。

2. 附属農場の牛群における乳頭間隔値と搾乳ロボット適合性

附属農場のホルスタイン種について搾乳の前後に測定した乳頭間隔値などの結果をTable 2に、ジャージー種の結果をTable 3に示した。搾乳前の

Table 2 Distance between teats by parity groups of Holstein cows at the Rakuno Gakuen University Research Farm.

Measurement	Parity (Total number of cows)	Distance between teats (mm)				Udder size (mm)		Teat angle				Distance from lowest point of teat to floor (mm)			
		DF	DR	DLS	DRS	Length	Width	LF	LR	RF	RR	LF	LR	RF	RR
Premilking	1(61)	135.6	53.1	129.1	123.2	433.2	220.2	8.7	12.9	10.2	12.7	565.0	578.1	558.2	585.4
	2(37)	141.5	58.5	150.5	141.0	484.2	233.1	10.2	10.9	11.4	14.1	515.4	517.3	501.9	515.4
	≥3(75)	143.3	62.3	164.9	164.3	498.1	232.4	9.5	11.8	11.8	14.3	441.9	450.0	431.4	444.2
Postmilking	1	106.6	34.4	106.3	103.1	380.4	176.9	8.7	14.4	11.1	13.9	576.1	589.6	572.2	596.2
	2	119.7	40.3	127.4	117.9	427.1	186.2	9.6	11.9	9.4	11.9	530.8	527.8	521.0	525.9
	≥3	121.5	47.5	144.4	140.9	463.2	189.3	9.8	12.0	10.6	12.2	452.0	451.2	437.0	452.4

DF=distance between front teats, DR=distance between rear teats, DLS=distance between left side teats, DRS=distance between right side teats.

LF=left front, LR=left rear, RF=right front, RR=right rear.

Table 3 Distance between teats by parity groups of Jersey cows at the Rakuno Gakuen University Research Farm.

Measurement	Parity (Total number of cows)	Distance between teats (mm)				Udder size (mm)		Teat angle				Distance from lowest point of teat to floor (mm)			
		DF	DR	DLS	DRS	Length	Width	LF	LR	RF	RR	LF	LR	RF	RR
Premilking	1(2)	78.3	53.7	82.5	81.8	360.7	171.7	6.8	12.3	5.7	10.7	484.3	514.0	484.5	504.7
	≥2(2)	91.7	62.5	129.2	138.2	429.7	221.0	9.8	12.8	9.7	7.5	388.8	443.3	422.3	442.2
Postmilking	1	62.3	39.5	84.8	79.7	352.7	139.0	6.5	12.3	5.8	7.8	490.5	509.7	481.5	498.0
	≥2	65.3	42.7	119.0	138.3	390.5	174.3	10.7	13.2	12.7	15.8	387.2	402.3	386.0	415.0

DF=distance between front teats, DR=distance between rear teats, DLS=distance between left side teats, DRS=distance between right side teats.

LF=left front, LR=left rear, RF=right front, RR=right rear.

乳頭間隔値は、産次が進むと全てにおいて増加する傾向が認められた。乳房幅においても産次の進行と共に乳器が発達し、幅が増加したが、縦幅に比べ横幅の変化は少なかった。また乳頭先端高さは初産から3産以上になると、ホルスタイン種では123~141 mm 高さが減少し、ジャージー種においても62~96 mm 減少した。搾乳前後の測定結果を比較すると、搾乳直後の乳頭間隔はホルスタイン種で搾乳前に比べ12~35%減少し、特に後ろ左右の乳頭間においてまた初産牛ほどその減少が著しかった。乳頭先端高さは搾乳後に1~4%増加した。

Table 4 には泌乳期間の乳頭間隔の変化を産次別にまとめた。測定日の泌乳日数は牛群平均でおよそ130日、160日、210日であった。従って初回測定の30日後、80日後の乳頭間隔は初回測定値からそれぞれ-11.0~11.5%、-15.1~12.7%変化し、搾乳前後の変化と同様に後ろ左右の乳頭間における変化が顕著であった。乳頭先端高さは初産を除く牛群で、泌乳期間の推移と共に増加し、3産以上の牛群では初回測定値に比べて7.1%増加した。今回の測定では測定間隔が80日程度と比較的短期間で3回のみの測定であったことや、乾乳などで十分な個体数が確保できなかったこともあり、泌乳期間の乳器形状の

変化を明確に示す結果は得られなかった。しかし、自動搾乳に移行した後は、乳頭位置座標を毎日正確に記録することが可能であるため、より詳細な解析が期待できるものと考ええる。

L社の自動搾乳システムにおいて望ましいとされる乳頭間隔や最低乳頭高さ、左右の乳頭高低差等の数値と、前項で述べた既にこのシステムで搾乳を行っている3農場における乳牛のこれらの最小(最大)値および附属農場における牛群の計測結果を合わせてTable 5に示した。自動搾乳システム移行前の附属農場には適合条件値を外れる個体が存在し、それらは全ての項目において認められた。これらの個体は、ロボットでの搾乳の際に乳頭位置検出が不能となったり、搾乳機の取り付けに失敗したりする確率が高く、自動搾乳システム移行後の牛群に加えない方が良いと思われる。しかし、既にロボット搾乳を行っている、A、B、Cの3農場の牛群中には、前左右の乳頭間隔(適合条件値125~300 mm)において70 mmを示す個体、最低乳頭高さ(同350 mm以上)において327 mmを示す個体や左右の乳頭高低差(同30 mm以下)において47 mmを示す個体が確認された。これらのことから実際のロボット搾乳においては条件値を越える個体でも搾乳が可能な

Table 4 Distance between teats by parity groups and lactation days at the Rakuno Gakuen University Research Farm.

Parity (Total number of cows)	Date	Lactation (days)	Distance between teats (mm)				Udder size (mm)		Teat angle				Distance from lowest point of teat to floor (mm)				Milk yield (kg)
			DF	DR	DLS	DRS	Length	Width	LF	LR	RF	RR	LF	LR	RF	RR	
1 (15)	28 July	131	141.3	56.1	126.1	123.7	435.1	222.1	8.1	13.7	11.9	12.5	570.4	581.9	566.9	589.8	10.7
	28 August	162	136.9	53.9	134.1	126.7	430.9	228.2	8.7	12.3	9.5	13.5	566.4	576.0	558.5	588.7	9.6
	15 October	214	127.8	48.6	124.6	113.4	421.5	202.5	8.1	13.3	9.7	15.9	557.1	571.8	550.3	581.1	10.1
2 (9)	28 July	137	129.0	51.2	153.4	138.2	476.3	237.0	9.1	11.6	14.2	13.3	499.9	491.0	476.6	489.9	13.2
	28 August	168	132.6	57.1	156.8	148.3	518.0	235.7	13.4	10.3	11.0	15.6	516.0	521.8	506.8	519.3	11.4
	15 October	219	142.1	57.7	146.0	136.5	468.1	233.0	10.4	9.6	12.1	16.2	514.2	515.9	502.6	516.8	10.6
≥3 (16)	28 July	137	137.9	62.4	166.8	165.4	507.6	242.9	9.1	14.1	11.1	14.1	415.9	429.1	402.5	424.4	14.0
	28 August	168	143.1	55.5	169.6	175.3	505.6	223.9	10.3	10.3	13.4	13.8	430.3	442.9	417.5	436.1	12.2
	15 October	219	128.4	53.0	164.0	161.1	483.2	218.3	10.6	10.9	11.7	14.3	445.4	452.9	431.0	447.4	11.5

DF=distance between front teats, DR=distance between rear teats, DLS=distance between left side teats, DRS=distance between right side teats.

LF=left front, LR=left rear, RF=right front, RR=right rear.

Table 5 Comparison of measured distance between teats and desirable values in the automatic milking system.

	Distance between teats (mm)				DLF(mm)	DFH(mm)		Teat angle
	DF	DR	DLS	DRS		Front	Rear	
Desirable value	125~300	>30	>70	>70	>350	<30	<30	<30
A	70	33	70	70	327	31	24	—
B	78	38	75	77	344	47	29	—
C	112	34	76	74	427	21	23	—
Res. Farm	24	7	63	59	318	80	50	50

Res. Farm=Research Farm, Rakuno Gakuen University.

DF=distance between front teats, DR=distance between rear teats, DLS=distance between left side teats, DRS=distance between right side teats, DLF=distance from lowest point of udder to floor, DFH=difference between left and right teats of height from floor.

場合もあると考える。従って附属農場の牛群から自動搾乳システムに移行する牛群を選抜する基準として、L社が定めた標準的な適合条件の他に、このロボット導入3農場の個体によって示された数値を参考にした適合条件の2つで適合性を判定した。

Table 6 には附属農場における3回の計測結果を基に不適合となった個体数の割合を産次別に示し

Table 6 Number of cows which were not suitable to automated milking in two conditions of suitability.

Parity	Date	Standard		Three farms	
		Cows	%	Cows	%
1	28 July	8	38	3	14
	28 August	11	55	5	25
	15 October	12	60	6	30
	Average	10.3	51.0	4.7	23.0
2	28 July	5	42	5	42
	28 August	4	36	2	18
	15 October	5	36	3	21
	Average	4.7	38.0	3.3	27.0
≥3	28 July	17	74	11	48
	28 August	18	72	12	48
	15 October	16	62	7	27
	Average	17.0	69.3	10.0	41.0

た。標準適合条件の3測定回平均では、初産で10.3頭(51%)、2産で4.7頭(38%)、3産以上で17頭(69%)の個体が1つないし複数の項目において適合しなかった。しかし、ロボット導入3農場の適合条件では初産で4.7頭(23%)、2産で3.3頭(27%)、3産以上で10頭(41%)の個体が不適合となり、標準条件に比べると大幅に不適合の割合は減少した。初産牛では乳器の形成が未熟であるため乳頭間隔が狭いなどの理由で、一方3産以上の牛群では乳器の発達により最低乳頭高さの低下や、左右の乳頭高さに不均衡が生じ、不適合となる個体が多かった。

3. 自動搾乳移行後の各個体の搾乳成功率

前項で述べた適合性を参考にして、自動搾乳システムに移行する牛群19頭を選抜した。自動搾乳は現時点でまだ乳牛検定の公認記録として認められていないので、2産以上の乳牛の中から完全に適合条件を満たした適合度の高い個体を選び、その他に標準の適合条件は充足しないがロボット導入3農場の条件は満たしているような測定結果が、3回の測定の中で1回だけあった適合度の低い個体の中からも選抜した。

Fig. 2 には自動搾乳システムに移行した2000年

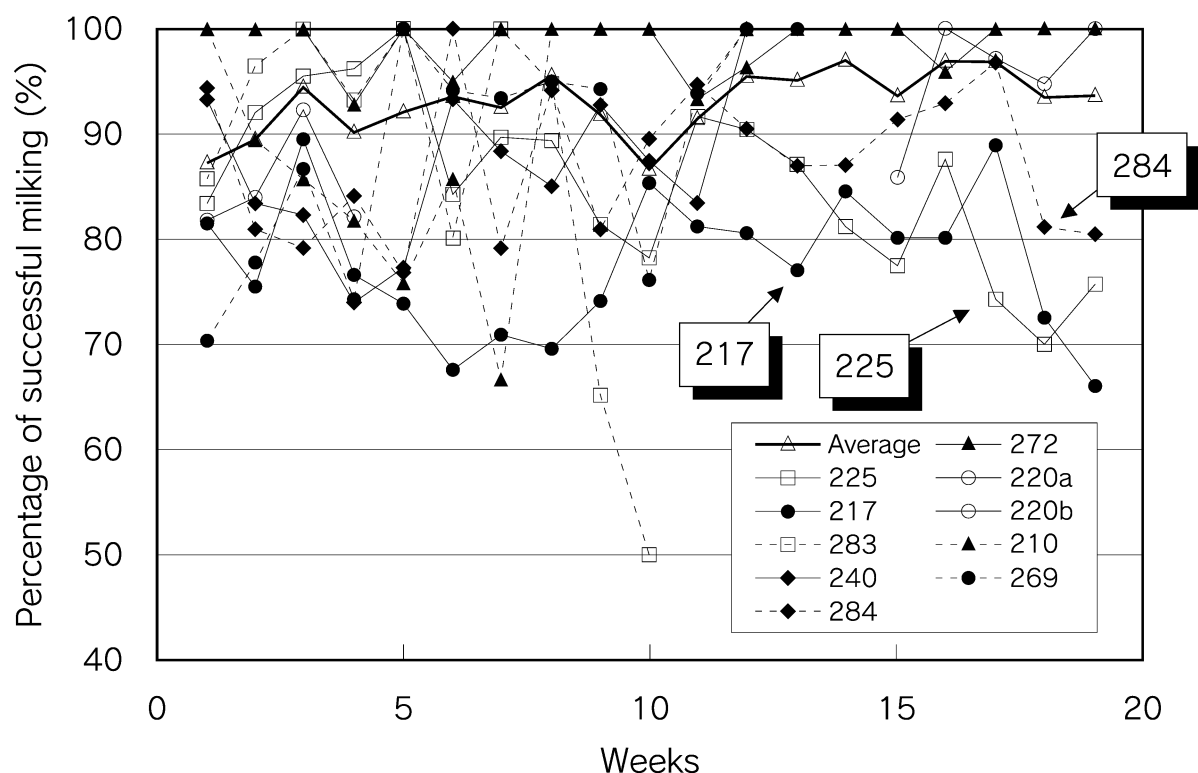


Fig. 2 Percentage of successful milking in 19 weeks after automated milking was introduced at the Rakuno Gakuen University Research Farm.

11月6日から19週目の2001年3月19日までの牛群の搾乳成功率を示した。適合度の高い個体は白抜きで、適合度の低い個体は記号を塗りつぶして示したが、搾乳成功率が90%を越えた適合度の高い個体については省略した。移行後の馴致1週間はストールに入る個体を全て搾乳したため、搾乳量不足から失敗として記録されることもあったが、2週目から牛群の平均搾乳成功率は90~95%となった。10週目に成功率は87%に低下したが、これは1月中旬の寒波により搾乳機器の凍結するトラブルがあったためである。

移行前の測定では適合度が高かったが乾乳直前の4週目に成功率が82%に低下した個体 (No. 220) は、分娩後 (15週目以降) には95%以上に改善された。また、病気によって乳量が急激に減少し、搾乳成功率が低下した個体 (No. 283) も認められた。移行前の測定では適合度の低かった6頭の中においても平均搾乳成功率が90%を越える個体 (No. 210, 269, 272) がいた。しかし、No. 217については移行当初から成功率が70~80%を低迷し、追い込みが必要な乳牛となって作業性を低下させた。

No. 217は移行前の測定では乳頭付着角度が適合条件を満たしていなかった。しかし、搾乳失敗の原因はこれ以外にあるように思われたため、搾乳ロボットの乳頭検出方法から検討してみた。供試した搾乳ロボットは乳牛の前後方向に水平移動とマニピュレータの関節部による回転動作、さらに乳頭検出のレーザーセンサとティートカップを伴ったマニピュレータ先端部 (マザーシップ) の姿勢決めと搾乳機を装着するため垂直方向の動作を行う4自由度を持っている (Fig. 3)。搾乳ロボットはマザーシップの姿勢とマニピュレータの水平、垂直動作で主な作業を行う。レーザーセンサは中心から後方に向けて120度の範囲を走査する。乳頭の検出は始めに前方の2乳頭を検出してから、マニピュレータを後方に移動させて後ろの2乳頭を確認した後、ティートカップを装着する。No. 217の場合はいつも右後ろ乳頭の装着に失敗することから、4乳頭とレーザーセンサの位置関係を調べてみると、右後ろ乳頭が右前乳頭の陰になる特殊な乳頭配置にあることが判明した (Fig. 4)。乳牛の乳頭間隔は前乳頭間隔が広く、後ろ乳頭間隔は狭いのが一般的である (Table 1, 2)。しかし、No. 217の場合は前乳頭間隔と後ろ乳頭間隔がほぼ同じで右側乳頭が一列に並び、さらに全体に左側へ偏倚していた。

前乳頭位置が後ろ乳頭検出の障害になる場合を Fig. 5 に作図して示した。後ろ乳頭を $RR(x_{rr}, y_{rr})$,

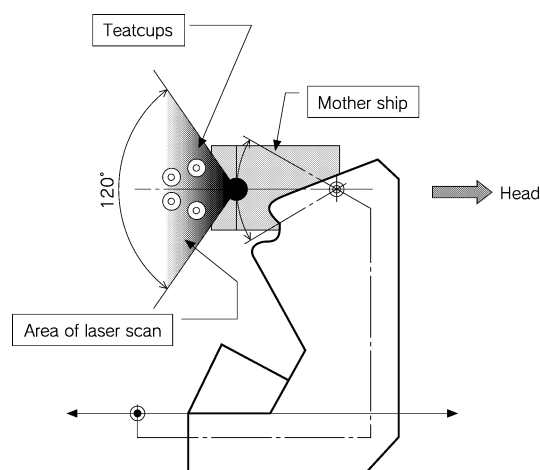


Fig. 3 Configuration of articulated robot manipulator.

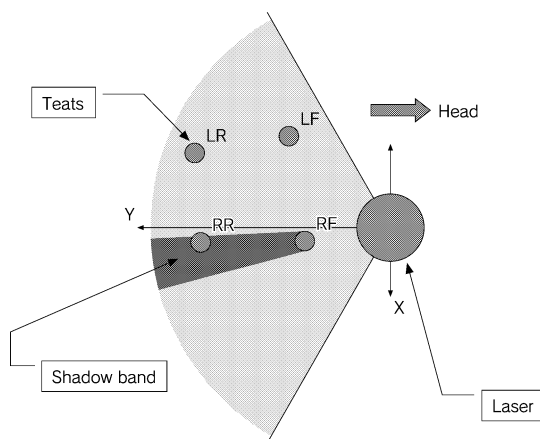


Fig. 4 Example of specific teat position in which a rear teat was hidden by a front teat. (cow No. 217)

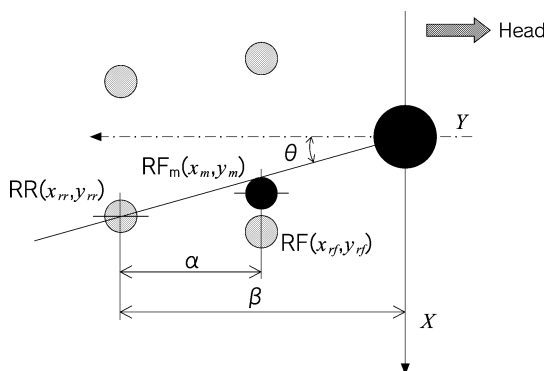


Fig. 5 Mathematical demonstration of a case in which a rear teat was hidden by a front teat.

前乳頭を $RF(x_{rf}, y_{rf})$ 、前後乳頭間また後ろ乳頭とレーザー中心までの Y 座標上の距離をそれぞれ α, β としたとき、後ろ乳頭検出の障害になる前乳頭座標 $RF_m(x_m, y_m)$ は次式

$$\theta = \arctan\left(\frac{x_{rr}}{\beta}\right)$$

$$x_m = \frac{(\beta - \alpha) \sin \theta + r}{\cos \theta} \quad r: \text{乳頭半径}$$

$$y_m = y_{rr} - \alpha$$

から求められる。

これらから乳牛の前乳頭座標 $RF(x_{rf}, y_{rf})$ が後ろ乳頭検出の障害にならないためには、

$$x_{rf} - x_m > 0$$

であることが条件となる。

Table 7 には搾乳成功率の低い 3 頭 (No. 217, 225, 284) の 18 週目の乳頭間隔値、乳頭高低差と $x_{rf} - x_m$ の値を示した。No. 217 の左側の $x_{rf} - x_m$ 値は -1.1 となり、前乳頭が後ろ乳頭検出の障害になっていることが示された。他の 2 頭の数値は負ではなかったが、適合条件値と比較すると、No. 284 は前左右の乳頭高低差が 30 mm を越えていた。No. 225 には不適合を示す項目はないが、後ろ乳頭が前乳頭に比べて高い位置 (DFH=27 mm) にあり、このことが搾乳失敗の原因になっていると思われる。

自動搾乳移行前の調査で適合性が高かった個体 (13 頭) は、病気などで乳量が低下した 2 頭を除き、移行後の搾乳成功率が 90% を越えていた。また、適合性の低かった個体のうち 3 頭は予想に反して成功率が 90% を越え、移行前の調査結果と一致しなかったが、他の適合性の低い個体は成功率が低かったことから、適合性の判定はほぼ正確であったと言える。しかし、本研究の解析によって適合条件以外にも、搾乳失敗の原因となる乳牛の特殊な乳頭位置が示されたことから、これらも考慮した上で搾乳ロボットに対する乳牛の適合性の検討が必要と考える。

要 約

本研究では自動搾乳システムを既に導入した農場

と導入予定の本学附属農場において、乳牛の乳房形状や乳頭座標を調査、測定し、各個体の搾乳ロボットへの適合性を調べた。さらに移行後の搾乳成功率からこれらの適合性を検証した。

1. 搾乳ロボット導入 3 農場における乳牛の乳頭間隔は、産次が進むと前後の間隔については有意 ($P < 0.01$) に増加した。また最低乳頭高さは産次が進むと有意 ($P < 0.01$) に減少した。

2. 附属農場における初産牛の 51% が、2 産では 38% が、3 産以上では 69% が標準適合条件で搾乳ロボットに適合しなかった。しかし、ロボット導入 3 農場の適合条件では不適合の割合が大幅に減少した。

3. 移行前の調査で適合性が高かった個体は、移行後の搾乳成功率が 90% を越えた。適合性の低かった個体の中で 3 頭は成功率が 90% を越える結果となった。しかしその他の個体は成功率が低かったことから、適合性の判定が正当であったことが証明された。

文 献

- 1) 畜産技術協会, 2000. 畜産新技術実用化対策事業平成 12 年度, 自動搾乳システム実用化中央専門家技術資料, pp. 7-13.
- 2) 八谷 満, 平田 晃, 市戸万丈, 2000. 搾乳ロボットシステムの設計評価に関する基礎研究 (第 1 報) —ホルスタイン種泌乳牛の乳頭配置の経時的変動—, 日本家畜管理学会誌, 35 (3) : 55-64.
- 3) Hillerton, J.E., C.H. Knight, A. Turvey, S.D. Wheatley and C.J. Wilde, 1990. Milk yield and mammary function in dairy cows milked four times daily. J. Dairy Res. 57: 285-294.
- 4) 干場秀雄, 2001. 搾乳ロボットの搾乳性能に及ぼす要因とその普及の可能性, 農業機械学会誌, 63 (1) : 100-105.
- 5) Ipema, A.H., E. Benders and W. Rossing, 1987. Effects of more frequent daily milking

Table 7 $X_{rf} - X_m$ values and distance between teats of cow to fail in milking. (average at 18th week)

Cow No.	Distance between teats (mm)				DLF (mm)	DFH (mm)				Failure (/day)	$X_{rf} - X_m$	
	DF	DR	DLS	DRS		Front	Rear	Left	Right		Left	Right
217	101.7	81.6	93.7	102.0	421	17	10	16	23	1.4	40.8	-1.1
225	138.9	71.5	136.8	109.1	420	11	11	27	27	1.7	71.1	26.0
284	117.8	44.0	130.9	130.6	560	33	5	21	17	0.7	54.1	29.4

DF=distance between front teats, DR=distance between rear teats, DLS=distance between left side teats, DRS=distance between right side teats, DLF=distance from lowest point of udder to floor, DFH=difference between two teats (left and right, front and rear) of height from floor.

on production and health of dairy cattle, In Proceedings of the third symposium automation in dairying, pp. 283-293, IMAG, Wageningen, The Netherlands.

6) Miller, R.H., L.A. Fulton, B. Erez, W.F. Wil-

liams and R.E. Pearson, 1995. Variation in distances among teats of Holstein cows: Implications for automated milking. J. Dairy Sci., 78: 1456-1462.

Summary

We examined the udder shape and teat location of dairy cows to assess the suitability of the milking robot. The study was conducted at the Rakuno Gakuen University Research Farm where the automatic milking system was newly introduced and at three farms where the cows had become accustomed to the automatic milking system. Suitability was assessed largely by the rate of successful milking.

1. In cows on the three farms already using the automatic milking system, the distance between the front teat and rear teat increased significantly ($P < 0.01$) with age (parity). The distance from the lowest point of the udder to the floor decreased significantly ($P < 0.01$) with parity.

2. On the Research Farm, the milking robot for the standard condition of suitability was found to be unsuitable to 51% of the cows in first parity, 38% in second parity, and 69% in third or later parity. The ratio of unsuitable cows was considerably lower in the condition of three farms.

3. In cows that had been examined for suitability before introduction to the automatic milking system and had been deemed highly suitable, the rate of successful milking by robot was greater than 90%. Among the cows that had indicated a low suitability, 3 cows had a 90% rate of successful milking after introduction to automated milking. However, the rate of successful milking was low for all the other cows that had received a low suitability score.

These results show that the criteria for judging the suitability of lactating cows for the automatic milking system are reliable.